

令和 2 年 5 月 17 日現在

機関番号：30108

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01628

研究課題名(和文) 運動過程の客観的評価に基づく運動学習支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of a motor learning support system based on objective evaluation of motor processes

研究代表者

稲垣 潤 (Inagaki, Jun)

北海道科学大学・工学部・教授

研究者番号：50337052

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、主に小中学校の体育授業において、運動課題の成功や失敗といった結果からではなく、学習者が運動過程における自らの姿勢を客観的に認識することにより模範的動作の習熟を促すことを目的とする運動学習支援システムを開発した。三次元的な姿勢評価は大型・高価な動作解析装置が必要であったため教育現場への導入が困難だったが、小型・安価なモーションキャプチャデバイスであるKinectを用いることにより、授業前後の短時間で設置・撤収が容易な実用的なシステムとなった。さらに、教育現場での試用を通じた生徒・教諭への聞き取り調査から、目視では得られなかった重心や骨格の動きに着目した気づきが得られる示唆を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢者になっても健康であり続けるためには運動習慣が重要であるが、幼少期に体育授業に苦手を感じていた児童は、大人になってからの運動習慣が低いとされていることから、高齢者の介護負担を軽減する長期的方策の一つとして、体育授業における教育の質の担保が挙げられる。本研究で開発したシステムは、運動が苦手な児童生徒に自身の動きの客観的な情報を提示することにより模範的動作の上達を促し、日常的な運動の習慣づけを目指すことができる。また本システムは1つのセンサーで上下左右様々な視線から姿勢を評価することができるため、児童生徒に限らず成人や高齢者を含めた遠隔での運動・リハビリテーション指導への応用可能性がある。

研究成果の概要(英文)：In this study, we proposed a motor-learning support system for physical education classes in elementary and junior high schools, which aims to promote the mastery of exemplary movements by allowing learners to objectively recognize their own posture in the motor process, rather than by the success or failure of the motor task. It was difficult to introduce a three-dimensional posture evaluation system into educational sites because of the need for large and expensive motion analysis equipment. However, by using Kinect, a small and inexpensive motion capture device, we have developed a practical system that is easy to set up and take down in a short time before and after class. In addition, interviews with students and teachers through the trial use of the system in the educational field suggested that we could gain awareness focusing on the center of gravity and skeletal movements that could not be obtained by visual observation.

研究分野：福祉情報工学

キーワード：運動学習 Kinect 教育工学 動作解析

1. 研究開始当初の背景

近年、少子高齢化の進行に伴い社会保障給付費が増大しており、特に団塊の世代が75歳を迎える2025年には負担が一段と増大することから2025年問題と呼ばれている。国民一人当たりが生涯要介護状態となっている期間(平均寿命-健康寿命)は、男性が平均9.02年、女性は平均12.4年である(2013年:厚生労働省)。行政は社会保障費負担構造の変化を余儀なくされるため、健康寿命の延伸を目的に予防医療に予算を割こうとしている。

高齢者になっても健康であり続けるためには運動習慣が重要であるが、運動習慣は幼少期の体育の得手不得手が関係するといわれており、例えば幼少期に体育授業に苦手を感じていた児童は、成人になってからの運動習慣が低いとされている¹⁾。すなわち高齢者の介護負担を軽減する長期的方策の一つとして、体育授業における教育の質の担保が挙げられる。

体育授業においては、学習者自身の動作認識を促すことで運動学習の効果が上がる。例えば、マット運動や跳び箱といった単元における動作の上達には、学習者が自分の動きを客観的に理解し、自身の課題を正確に捉えることが必須となる。これまでの体育授業では、学習者の課題動作の成功に伴う達成感によって自身が学習していく自律的学習が中心であったが、課題動作の良し悪しは結果の成功あるいは失敗のみによって判断せざるを得ないため、模範的動作の習熟を促すことは困難であった。また教師・クラスメートの目視による動作・運動への助言や指導も主観的なものである上、指導者の経験値に依存するためガイドに個人差が生じてしまう。

国内外の報告では、単純なビデオ撮影情報からの客観的な運動学習支援の試みが多く報告されているが²⁾、学習者自身が課題動作のどこに問題があるのか理解できないことや、指導者側も課題動作の評価の視点が定まらず、経験に頼ってしまうことになり、結局はビデオを再生しているにすぎない状況である。

従って、経験や勘といった指導者の主観的評価に頼らざるを得ない体育授業において、学習者自身が客観的に自身の課題動作を認識するためには、単に映像を再生するだけではなく、教育現場において動作を定量的に評価・分析可能なシステムの導入が望まれている³⁾。効率の良い動作を理解し、自身の運動課題を明確に捉えるためには、学習者が自身の動きを三次元的に理解することが有用であるが、三次元動作解析を行うには、図1のような実験室での大掛かりな解析機器を利用するより手立てがないのが現状である。また、計測には運動実施者の身体に多くのマーカを取り付けなければならない(図1の体の関節に取り付けた白い反射マーカ)、運動自体に干渉する可能性も考えられるため、一般的な小学校や中学校での体育授業での教材として応用するには現実的ではない。さらに、機器自体が大型であり授業前後での設置・撤収が不可能であることや、価格が極めて高価(数千万円~数億円)であることも教育現場への導入の大きな障壁となっている。

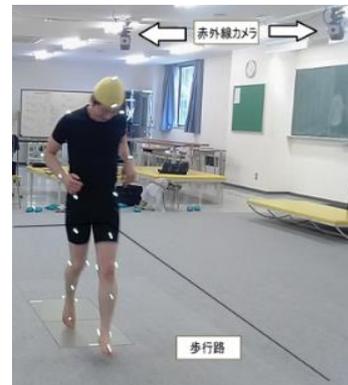


図1 動作解析室

一方、ゲームコントローラデバイスであるMicrosoft社製Kinectセンサーは小型・安価ながら人体の各関節の三次元座標を簡便に取得できるデバイスとして、近年様々な応用研究がなされている。本研究では、これを応用することにより、体育授業の現場で利用可能な小型かつ簡便な運動学習支援システムの開発研究の着想に至った。

<引用文献>

- 1) 昆恵介ほか：“若年者の転倒回避行動遅延容認関する基礎的研究”，第6回転倒予防医学研究会研究会誌，転倒予防医学研究会，pp.36-37，2009。
- 2) 下園博信ほか：“やる気と競技力を高めるビデオ映像の活用法(1)スポーツ現場におけるビデオ映像のさまざまな活用法”，体育の科学，vol.57，no.8，pp.623-626，2007。
- 3) 新保淳ほか：“体育教師養成に寄与するビデオ共有システムの意義と方法”，静岡大学教育学部研究報告・教科教育学篇，vol.42，pp.299-312，2011

2. 研究の目的

運動は生活習慣病の罹患率や死亡率を下げ、高齢者においても寝たきりや死亡を減少させる効果があるといわれているが、幼少期に体育が不得手であった者は成人してからの運動習慣が低いといわれていることから、体育授業の質の向上は高齢者の介護負担の抑制につながる長期的方策の一つであるといえる。しかしながら、学習者は運動の成功・失敗は知り得ても、自身の運動の過程を客観的に理解することはできず、模範的動作の習熟は困難な現状にある。本研究は、小学校・中学校の体育授業における運動学習場面を対象とした、MicrosoftのKinect for Windowsセンサーを用いることにより、低コストで簡便な児童生徒の運動学習支援システムの開発を目的とした。

3. 研究の方法

研究代表者ら（稲垣・春名・昆）は本研究期間以前から引き続いて Kinect センサーを用いた歩行解析およびリハビリテーション支援システムを開発してきた。本研究課題はこれにより得られた知見を応用することで遂行されるが、まず Kinect センサーと高精度な従来型三次元動作解析装置で同時計測を行うことにより、測定誤差が運動学習支援に支障をきたさないかを確認した。次に、リハビリテーション支援システムを中学校 2 校の体育教諭の協力を得て小中学生に試用してもらった上で聞き取り調査を行うことによりニーズの把握を行った。調査結果をもとに運動学習支援のために必要となる要求機能を実装したアプリケーションの開発を行い、再度体育教諭や小中学生に試用してもらい、そのフィードバックを得てさらなる改良を行うということを繰り返した。期間途中で当初使用していた Kinect センサーが発売中止となり、一時開発が停滞したものの、最終的には 2019 年に発売された最新型 Kinect センサーへの対応も行った。



図 2 リハビリテーション支援システム

4. 研究成果

①基盤システムの精度検証

本研究課題は、研究代表者らがかねて開発してきた Kinect を用いたリハビリテーション支援システムを基盤として運動学習支援システムを開発する計画であった。リハビリテーション支援システムは、歩行過程における身体合成重心（COG）を算出し、図 2 のように正面・真上・真横の視点からリアルタイム表示するとともに、歩幅、速度、ケージンスといったパラメータを表示・保存可能なものである。これを用いたフィールド調査に先立って、従来型の高精度な三次元動作解析装置（VICON）との同時計測実験を行うことにより測定精度を検証した。

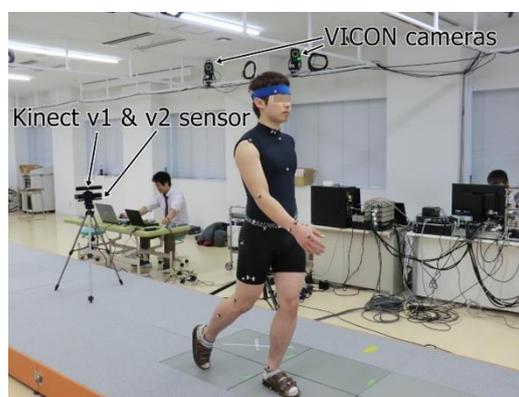


図 3 実験環境

計測実験は図 3 のような歩行路上に Kinect センサーを設置し、カメラから遠ざかる方向での健常者の歩行を計測して行った。これを各デバイスにより同時測定し、得られた各身体部位の三次元座標から COG の高さを算出し比較を行ったところ、図 4 のように第二世代 Kinect（Kinect v2・赤線）と VICON（青線）では類似した波形を得られることが確認された。また、歩行の特徴点（COG 鉛直変位の極点）における誤差率は 0.52~0.66% であり、本研究課題の運動学習支援の用途を念頭に置いた場合、測定精度は実用に問題ないとの結論を得た。

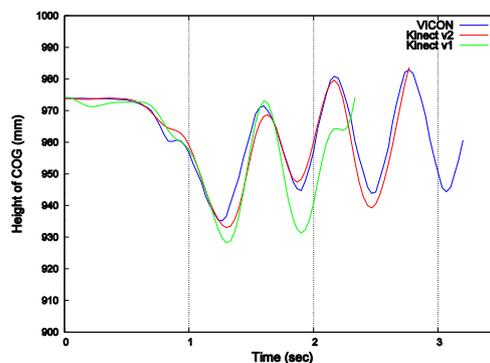


図 4 COG 鉛直変位の比較

②ニーズ把握のための教育現場における調査

次に、運動学習支援システムに対するニーズの把握と実装機能の決定を目的として、体育科教育の専門家である研究分担者（中島）が中心となって、協力中学校 2 校の協力を得たうえで、上述のリハビリテーション支援システムを試用してもらい、生徒・教諭の双方に聞き取り調査を行った。対象は札幌市内 A 中学校の 2 年生 5 名と体育教諭 1 名、および千歳市内 B 中学校の陸上競技部 1 年生 5 名と顧問教



図 5 中学校におけるフィールド調査の様子

論 1 名である。いずれの実践においても、ソフトウェアの操作は生徒同士で行っており、教諭は映像を見ながら学習者にアドバイスをする。実践の様子を図 5 に示す。各中学校での実践後、生徒および教諭に聞き取りを行った結果、生徒からは「腿上げて膝が開いていたり、左右の足で高さに違いがあることがわかった」「重心の位置がぶれていることがわかった」「シュートの時に肘が外に向いていることがわかった」「3次元で見ることができるのでイメージしやすい」「他の人の動きと違うところを見つけやすい」といった意見・感想があり、単なるビデオ映像の再生では着眼することが難しかった点に気づきが得られていることが窺がえた。また、教諭からも「重心位置の移動の仕方、股関節角度、膝角度など目視では捉えられない部分も明確になる」「動作について詳細な情報が得られるため、生徒たちへのフィードバックや助言がより具体的になると感じる」といった、生徒の感想を裏付ける意見が得られた。

③プロトタイプの開発

前節のフィールド調査では様々な意見が得られたが、このうち「他の人の動きと違うところを見つけやすい」といった意見に着目し、最初のプロトタイプでは学習者の動作と手本となる動作を同時に比較できる機能を実装した。また、「重心の位置がぶれていることがわかった」「重心位置の移動の仕方、股関節角度、膝角度など目視では捉えられない部分も明確になる」等の意見を踏まえ、重心位置を表示することとした。さらに、計測した三次元座標データを保存し、これをアプリケーションに読み込んでスティックピクチャで表示する機能も備えた。これにより、自身の運動を他者あるいは自身の過去の運動と比較することが可能となった。

試作したプロトタイプを用いて学生 2 名が同じ運動動作をしている様子を測定、表示した一例を図 6、図 7 に示す。図 6 ではラジオ体操の「腕を振って脚を曲げ伸ばす運動」を行っているが、比較的緩慢な運動の場合、両者の動作に大きな差がないことがわかる。一方、図 7 は反復横跳びにおける折り返し時点の動作を示したものであるが、俊敏な動作の場合には両者の動作の違いが明確に識別でき、図中左側の学生は大きく前傾していることがわかる。本バージョンのプロトタイプでは正面、真上、真横の 3 方向からの視点で表示可能であることと併せて、本研究課題の運動学習支援システムにより、ビデオ映像と比較して動作の違いをより明確に評価することが可能となった。

④体育科教員へのヒアリングとフィードバックによる機能追加

前節で述べた初期バージョンのプロトタイプについて体育科教員へのヒアリングを行い、得られた意見を受けてさらなる追加機能の実装を行った。なお、ヒアリング→バージョンアップの過程は研究期間中に複数回繰り返された。ここでは最終バージョンまでに実装された機能について述べる。

- ・肩や肘などの関節角度の表示（ボタンクリックにより表示・非表示の切り替え可能）
- ・スライダーで再生開始時刻を容易に選択できる機能
- ・キーボード操作によるコマ送り再生
- ・2つの骨格を重ねて比較表示（図 9）

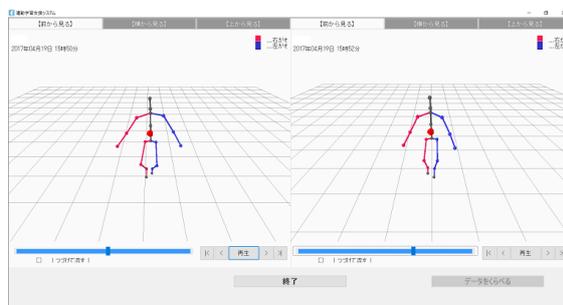


図 6 プロトタイプ動作画面の一例
(ラジオ体操)

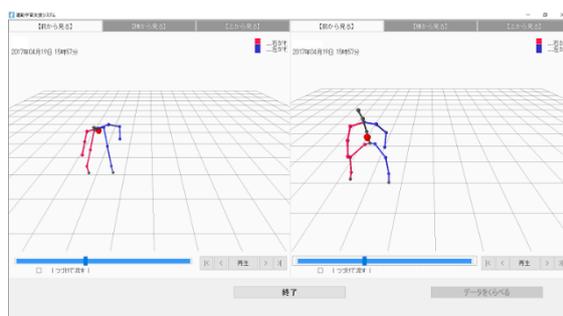


図 7 プロトタイプ動作画面の一例
(反復横跳び)

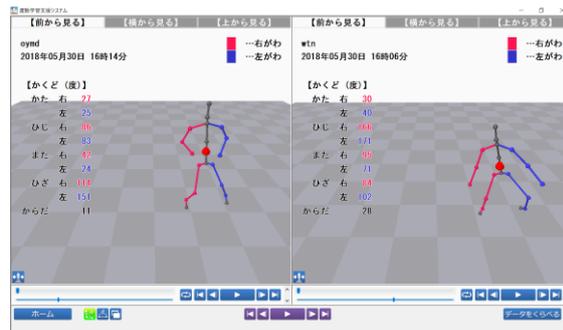


図 8 最終バージョン動作画面

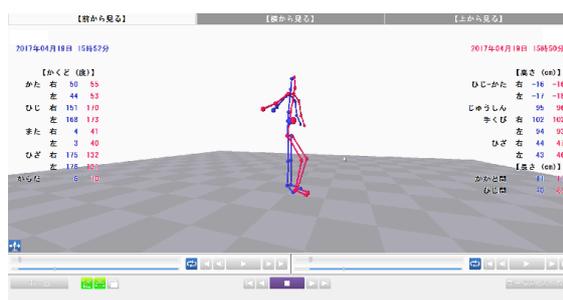


図 9 骨格画像を重ねて表示した例

- ・ 2 つの骨格動画を比較する際の同時再生がタン
- ・ 小学生の使用を念頭に、文字情報の平易化とアイコンの導入
- ・ マウス操作による任意の視点からの骨格画像表示と拡大縮小機能

また、記録した動作を後から確認するだけでなく、課題動作の上達をより促すためには学習者が指導者の手本の動きに合わせてリアルタイムで運動動作を行うことが効果的ではないかとの意見があったことから、図 10 のように、画面右側であらかじめ記録した手本のデータを表示し、画面左側に学習者のリアルタイムの動作を表示する機能を実装した。

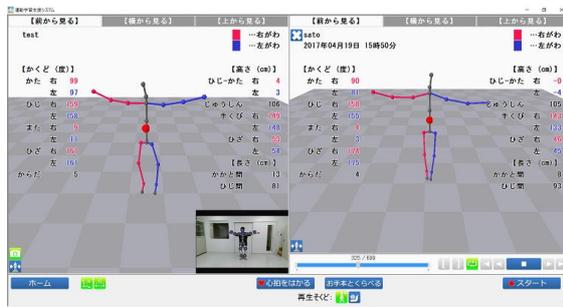


図 10 手本に合わせた運動学習モード画面

⑤開発成果の実地における試用調査

本システムで実装した機能の有用性について検討するために、その第一段階として、北海道新得町内 C 小学校の児童および教諭の協力を得て、野球クラブの児童にバッティングその他のフォームの測定を行ってもらい、聞き取り調査を行った（実践の様子を図 11 に示す）。その結果、「上手い人との比較ができるし、自分の癖が分かるので上手くなるような気がする(児童)」「直したところが本当に変わっているかがわかるのでやる気が出る(児童)」「上達したことがすぐに把握でき、子どもを褒める機会が増える(教諭)」といったポジティブな意見がある一方、「回転の動きや速い動きの解析ができない部分がある(教諭)」のような、運動課題を限定する必要性を示唆する意見も得られた。



図 11 実地における試用調査

⑥最新型 Kinect (Azure Kinect) への対応バージョンの開発

前節までに述べた研究成果は 2014 年に発売された Kinect v2 を用いて開発されたものであるが、研究期間の途中である 2017 年に突然 Microsoft より Kinect の生産中止が発表された。これに伴い、代替となる機器の選定作業などを行っていたが、2019 年になって Kinect の後継バージョンである Azure Kinect が発売された。Kinect v2 と Azure Kinect は同じソフトウェアで動作する互換性がないため、今後の継続研究を見据えて移植作業を行った。

以上の研究成果から、運動学習支援システムは一定の完成を見た。また、実地における試用調査からも教育現場での効果が見込める示唆を得た。一方、Kinect は計測範囲が数 m 以内であること、カメラから見て隠れている関節の座標は誤差が大きくなること、計測周波数が 30Hz であることなどデバイスそのものの計測限界があるため、すべての運動種目に汎用的に適用することは不可能である。従って、体力テストや体育授業における運動単元の選定が課題として残された。さらに、本システムの体育科教育におけるフィールド調査を通した定量的な学習効果の測定については今後継続して研究を行う。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 歩行におけるエネルギー変換効率のKinectセンサーによる計測	4. 巻 5
2. 論文標題 稲垣 潤, 春名 弘一, 昆 恵介, 真田 博文, 本郷 節之	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 臨床歩行分析研究会誌	6. 最初と最後の頁 33-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 稲垣潤, 春名弘一, 昆恵介, 本郷節之, 岡崎哲夫	4. 巻 4
2. 論文標題 Kinectセンサーを用いた身体合成重心の検出と精度	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 臨床歩行分析研究会誌	6. 最初と最後の頁 21-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 稲垣 潤, 中島 寿宏, 春名 弘一, 昆 恵介, 佐藤 洋一郎, 鈴木 昭弘, 本郷 節之
2. 発表標題 Kinectを用いた運動学習支援アプリケーションの作成と実地における試用
3. 学会等名 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jun Inagaki, Toshihiro Nakajima, Hirokazu Haruna, Keisuke Kon, Yoichiro Sato, Sadayuki Hongo
2. 発表標題 A prototype of a motor-learning support system using a motion-capture device
3. 学会等名 IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲垣 潤, 中島 寿宏, 春名 弘一, 昆 恵介, 佐藤 洋一郎, 鈴木 昭弘, 本郷 節之
2. 発表標題 Kinectを用いた運動学習支援アプリケーションの作成
3. 学会等名 情報処理学会 情報科学技術フォーラム (FIT)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun Inagaki, Hirokazu Haruna, Keisuke Kon, Takumi Ino, Yoshimi Tanahashi, Sadayuki Hongo
2. 発表標題 Measurement of energy conversion efficiency in gait using a portable motion capture device
3. 学会等名 Asian Prosthetic and Orthotic Scientific Meeting (APOSOM) 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲垣 潤, 中島 寿宏, 春名 弘一, 昆 恵介, 佐藤 洋一郎, 本郷 節之
2. 発表標題 モーションキャプチャを用いた運動学習支援システムの試作
3. 学会等名 情報処理学会 情報科学技術フォーラム (FIT)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲垣 潤, 中島 寿宏, 春名 弘一, 昆 恵介, 佐藤 洋一郎, 真田 博文, 本郷 節之
2. 発表標題 Kinectを用いた運動学習支援アプリケーションの改良
3. 学会等名 電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲垣 潤, 中島 寿宏, 春名 弘一, 昆 恵介, 佐藤 洋一郎, 真田 博文, 本郷 節之
2. 発表標題 Kinect を用いた運動学習支援アプリケーションの試作
3. 学会等名 電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 稲垣潤, 中島寿宏, 春名弘一, 昆恵介, 佐藤洋一郎, 本郷節之
2. 発表標題 モーションキャプチャを用いた運動学習支援の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中島寿宏, 昆恵介, 春名弘一, 佐藤洋一郎, 秋野禎見, 稲垣潤
2. 発表標題 中学生を対象としたリアルタイム運動学習支援システムの開発 - Kinectシステムによるフィードバックの効果 -
3. 学会等名 日本運動・スポーツ科学学会 第23回大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 稲垣潤, 春名弘一, 昆恵介, 本郷節之, 岡崎哲夫
2. 発表標題 エネルギー変換効率を指標とした小型歩容解析システムの検討
3. 学会等名 第15回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 稲垣潤, 中島寿宏, 春名弘一, 昆恵介, 佐藤洋一郎, 本郷節之, 岡崎哲夫
2. 発表標題 Kinect を用いた運動学習支援の試み
3. 学会等名 平成28年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 稲垣潤, 春名弘一, 昆恵介, 岡崎哲夫, 本郷節之
2. 発表標題 Kinectを用いた歩行解析システムの精度に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	春名 弘一 (Haruna Hirokazu) (00712168)	北海道科学大学・保健医療学部・准教授 (30108)	
研究分担者	中島 寿宏 (Toshihiro Nakajima) (10611535)	北海道教育大学・教育学部・准教授 (10102)	
研究分担者	昆 恵介 (Keisuke Kon) (30453252)	北海道科学大学・保健医療学部・教授 (30108)	

